

# Hydromécanique des milieux granulaires saturés par une approche micromécanique couplée Eléments discrets / Lattice-Boltzmann - Applications à la géotechnique

---

## ملخص :

تهدف الأعمال المقدمة في هذه الأطروحة إلى إنشاء نموذج عددي لمحاكاة التصرف الميكانيكي للمواد الحبيبية المشبعة بسائل، مثل الأتربة الرملية المشبعة بالماء. و لهذا الغرض، تم اختيار طريقة العناصر المستقلة لنمذجة الحبيبات الصلبة وطريقة «حل معادلة بولتزمان على شبكة» لنمذجة السائل مع ضمان الأخذ بعين الاعتبار التأثير الميكانيكي لكل من المادتين على الأخرى. النموذج العددي المنجز تمت مقارنته بحلول بعض المسائل المعروفة وتم تطبيقه لمحاكاة تدفق الماء عبر نماذج لأتربة رملية و قياس نفاذيتها، و كذلك تم استعماله لمحاكاة الظاهرة المعروفة ب«غليان الرمل» و التي تعبر عن جرف الرمل إلى أعلى تحت تأثير تدفق الماء، و كانت النتائج المحصل عليها جد مرضية. هذا النموذج يمكن استعماله لمحاكاة التصرف الميكانيكي للمواد الحبيبية المشبعة الخاضعة لتدفق السوائل أو لتأثيرات ميكانيكية و بذلك قد يساهم في فهم بعض الظواهر المتعلقة بهذه المواد.

كلمات مفتاحية : مواد حبيبية مشبعة، طريقة العناصر المستقلة، طريقة «حل معادلة بولتزمان على شبكة»، محاكاة، نفاذية.

## Résumé :

Les travaux présentés dans cette thèse sont orientés sur le développement d'un modèle numérique pour la simulation du comportement mécanique de matériaux granulaires saturés. Pour cela, le choix a été fait sur le couplage de la méthode Lattice-Boltzmann du calcul dynamique des fluides avec une méthode du type éléments discrets, la dynamique moléculaire étant la méthode choisie pour cette fin. Initialement, des codes de simulation de milieux granulaires secs et d'écoulements de fluides sont élaborés de façons indépendantes. Ces codes ont été utilisés pour construire des dépôts granulaires modèles et simuler des écoulements transversants, en particulier la perméabilité et le gradient hydraulique de bouillancé sont calculés. Les résultats obtenus sont en très bon accord avec les résultats classiques connus. En deuxième étape, après avoir mis une stratégie du couplage des deux méthodes, un code de calcul tenant compte du couplage a été mis au point. Ce code est d'abord soumis à certains tests de validation puis appliqué à la simulation de la bouillancé des sables. Les résultats obtenus sont très satisfaisants. Cet outil numérique peut être utilisé pour la simulation des milieux granulaires saturés soumis à des gradients hydrauliques ou à des excitations mécaniques, il pourrait ainsi permettre d'apporter une contribution à la compréhension de certains comportements hydromécaniques relatifs à ces milieux .

**Mots clés :** Milieux granulaires saturés, simulation, Lattice Boltzman, éléments discrets, perméabilité, bouillancé des sables.

## Abstract :

The works presented in this thesis are focused on the development of a numerical model to simulate the mechanical behavior of saturated granular materials. For this, the choice has been done is to couple the Lattice - Boltzmann method for fluid dynamics modeling with a discret element method, molecular dynamics is the method chosen for this purpose. The computer code developed in this framework was submitted to validation tests and applied to simulate flows through granular deposits models, permeability and critical hydraulic gradient corresponding to quick condition (boiling) are thus computed. The code is also used to simulate the sand boiling, the obtained results from all applications are very satisfactory. This computer code can be used to simulate saturated granular materials submitted to hydraulic gradients or mechanical excitations, it could hence contribute to the understanding of some hydromechanical behaviors related to these materials.

**Keywords :** Saturated granular materials, simulation, Lattice-Boltzmann, discret elements, permeability, sand boiling.

---